

## PATENT COOPERATION TREATY

PCT

## NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

United States Patent and Trademark  
Office  
(Box PCT)  
Crystal Plaza 2  
Washington, DC 20231  
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

in its capacity as elected Office

<b>Date of mailing (day/month/year)</b> 30 April 1999 (30.04.99)	
<b>International application No.</b> PCT/DE98/02163	<b>Applicant's or agent's file reference</b> GR 97 P 3570 P
<b>International filing date (day/month/year)</b> 29 July 1998 (29.07.98)	<b>Priority date (day/month/year)</b> 11 August 1997 (11.08.97)
<b>Applicant</b> ADAMY, Jürgen et al	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

☒ in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:  
10 March 1999 (10.03.99)

☐ in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:  
\_\_\_\_\_

2. The election ☒ was  
☐ was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

<b>The International Bureau of WIPO</b> 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	<b>Authorized officer</b> Diana Nissen Telephone No.: (41-22) 338.83.38
--	---

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT  
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

# PCT

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts <b>GR 97 P 3570 P</b>	<b>WEITERES VORGEHEN</b> siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen <b>PCT/DE 98/ 02163</b>	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) <b>29/07/1998</b>	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) <b>11/08/1997</b>
Anmelder  <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.</b>		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 2 Blätter.

☒ Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

### 1. Grundlage des Berichts

- a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

☐ Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.

- b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das

☐ in der internationalen Anmeldung in Schriftlicher Form enthalten ist.

☐ zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.

☐ bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.

☐ bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.

☐ Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.

☐ Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen (siehe Feld I).

3. ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).

### 4. Hinsichtlich der Bezeichnung der Erfindung

☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

☐ wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

### 5. Hinsichtlich der Zusammenfassung

☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

☐ wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

6. Folgende Abbildung der **Zeichnungen** ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 3

☒ wie vom Anmelder vorgeschlagen

☐ weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.

☐ weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.

☐ keine der Abb.

<b>A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> IPK 6 G05B19/00 G05B13/02		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 6 G05B		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 272 621 A (AOKI SHIGEAKI) 21. Dezember 1993 siehe Spalte 5, Zeile 35 - Spalte 10, Zeile 24	1-3,6
X	DE 44 20 800 A (ROS FRED DR) 21. Dezember 1995 siehe das ganze Dokument	1,2,6
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche  <b>7. April 1999</b>		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts  <b>15/04/1999</b>
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  <b>Messelken, M</b>

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 98/02163

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5272621 A	21-12-1993	JP 2138602 A JP 2553675 B	28-05-1990 13-11-1996
DE 4420800 A	21-12-1995	NONE	

**Translation**

PATENT COOPERATION TREATY

**PCT**

**INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT**

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference <b>GR 97 P 3570 P</b>	<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. <b>PCT/DE98/02163</b>	International filing date ( <i>day/month/year</i> ) <b>29 July 1998 (29.07.1998)</b>	Priority date ( <i>day/month/year</i> ) <b>11 August 1997 (11.08.1997)</b>
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC <b>G05B 19/00</b>		
Applicant <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT</b>		

<p>1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.</p> <p>2. This REPORT consists of a total of <u>4</u> sheets, including this cover sheet.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).</p> <p>These annexes consist of a total of <u>4</u> sheets.</p>
<p>3. This report contains indications relating to the following items:</p> <p>I <input checked="" type="checkbox"/> Basis of the report</p> <p>II <input type="checkbox"/> Priority</p> <p>III <input type="checkbox"/> Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability</p> <p>IV <input type="checkbox"/> Lack of unity of invention</p> <p>V <input checked="" type="checkbox"/> Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement</p> <p>VI <input type="checkbox"/> Certain documents cited</p> <p>VII <input type="checkbox"/> Certain defects in the international application</p> <p>VIII <input type="checkbox"/> Certain observations on the international application</p>

Date of submission of the demand <b>10 March 1999 (10.03.1999)</b>	Date of completion of this report <b>15 October 1999 (15.10.1999)</b>
Name and mailing address of the IPEA/EP European Patent Office D-80298 Munich, Germany Facsimile No. 49-89-2399-4465	Authorized officer  Telephone No. 49-89-2399-0

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/DE98/02163

## I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.*):

- ☐ the international application as originally filed.
- ☒ the description, pages 1, 2, 4-16, as originally filed,  
 pages \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
 pages 3, 3a, filed with the letter of 16 August 1999 (16.08.1999),  
 pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_.
- ☒ the claims, Nos. \_\_\_\_\_, as originally filed,  
 Nos. \_\_\_\_\_, as amended under Article 19,  
 Nos. \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
 Nos. 1-6, filed with the letter of 16 August 1999 (16.08.1999),  
 Nos. \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_.
- ☒ the drawings, sheets/fig 1/6-6/6, as originally filed,  
 sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
 sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_,  
 sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_.

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheets/fig \_\_\_\_\_

3. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

**V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement****1. Statement**

Novelty (N)	Claims	1-6	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1-6	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-6	YES
	Claims		NO

**2. Citations and explanations**

1. The present application concerns a control unit with at least one control element, which is designed as a time-discrete dynamic fuzzy logic control element.
2. US-5 272 621 represents the closest prior art. It shows a control unit with a fuzzy PI control element for controlling non-linear processes. The control unit is built into a time-discrete electronic data processing device. The latter contains a storage device for intermediate storage of actual internal state variables, particularly for creating the integral part of the control deviation.
3. The subject matter of Claim 1 differs from that prior art in that a storage device for intermediate storage of an actual internal state variable based on fuzzy inference is provided.
4. That is neither disclosed nor suggested by the prior art.

37

# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

## PCT

REC'D 19 OCT 1999



### INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts GR 97 P 3570 P	<b>WEITERES VORGEHEN</b> siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsbericht (Formblatt PCT/IPEA/416)	
Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 29/07/1998	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 11/08/1997
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK G05B19/00		
Anmelder SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.		

1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationale vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.
2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 4 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.  
  
☒ Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).  
  
Diese Anlagen umfassen insgesamt 4 Blätter.

3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:
- I ☒ Grundlage des Berichts
  - II ☐ Priorität
  - III ☐ Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
  - IV ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
  - V ☒ Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderische Tätigkeit und der gewerbliche Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
  - VI ☐ Bestimmte angeführte Unterlagen
  - VII ☐ Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
  - VIII ☐ Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags  10/03/1999	Datum der Fertigstellung dieses Berichts  15. 10. 99
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:   Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Bevollmächtigter Bediensteter  Messelken, M  Tel. Nr. +49 89 2399 2256  



# INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163

## I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigelegt, weil sie keine Änderungen enthalten.*):

### Beschreibung, Seiten:

1,2,4-16                      ursprüngliche Fassung

3,3a                      eingegangen am                      18/08/1999    mit Schreiben vom                      16/08/1999

### Patentansprüche, Nr.:

1-6                      eingegangen am                      18/08/1999    mit Schreiben vom                      16/08/1999

### Zeichnungen, Blätter:

1/6-6/6                      ursprüngliche Fassung

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung,                      Seiten:
- ☐ Ansprüche,                      Nr.:
- ☐ Zeichnungen,                      Blatt:

3. ☐ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)):

4. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

**V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

**1. Feststellung**

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche	1-6
	Nein: Ansprüche	
Erfinderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche	1-6
	Nein: Ansprüche	
Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)	Ja: Ansprüche	1-6
	Nein: Ansprüche	

**2. Unterlagen und Erklärungen**

**siehe Beiblatt**

**Zu Punkt V**

**Begründete Feststellung nach Regel 66.2(a)(ii) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

- 1 Die vorliegende Anmeldung betrifft ein Regler mit wenigstens einem Regelglied, daß als zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied aufgebaut ist.
- 2 Die Druckschrift US 5,272,621 bildet den nächstkommenden Stand der Technik. Sie zeigt einen Regler mit einem Fuzzy-PI-Regelglied zur Regelung nichtlinearer Prozesse. Der Regler ist auf einer zeitdiskreten elektronischen Datenverarbeitungseinrichtung realisiert. Diese enthält eine Speichereinrichtung zur Zwischenspeicherung aktueller innerer Zustandsgrößen, insbesondere für die Bildung des Integralanteiles der Regelabweichung.
- 3 Der Gegenstand des Anspruchs 1 unterscheidet sich von diesem Stand der Technik dadurch, daß eine Speichereinrichtung zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen vorgesehen ist.
- 4 Dies ist aus dem Stand der Technik weder bekannt noch durch ihn nahegelegt.

11.10.99

3

Aus dem Dokument WO 96/31304 und aus 'Breakout Prediction for Continuous Casting by Fuzzy Mealy Automata', Proceedings of the 3rd European Congress of Intelligent Techniques and Soft Computing EUFIT, Aachen, 29.-31 August 1995, Seiten 754 bis  
5 759, J. Adamy, ist ein als Fuzzy-Automat bezeichnetes, dynamische Fuzzy-System zur Durchbruch-Früherkennung beim Stranggießen bekannt.

10 Aus der US 5,272,621 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung eines Prozesses mit Totzeit bekannt. Das Verfahren beinhaltet eine Auswertung von Eingangssignalen in der Weise, daß Prozeß-Ausgangsantworten in Relation zu bekannten Eingangsinformationen gesetzt werden. Die Eingangs-Auswertekriterien sind dabei in einer oder mehreren der Integrator-,  
15 Proportional- und Differenzial-Prozeßantworten repräsentiert.

Aus der DE 44 20 800 A1 ist ein Fuzzy-PID-Regler bekannt, bei dem zur Verkürzung der bei der Ermittlung der Stellgröße benötigten Rechenzeit durch Einschränkung der verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen die Regelmenge auf zwei Regeln minimiert  
20 wird, wobei die Fuzzifizierungs-, in Differenz- und Defuzzifizierungsmethoden frei wählbar sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Regler mit Fuzzy-Eigenschaften so zu verbessern, daß die Regelvorgänge, insbesondere die Integrations- und Differentiationsvorgänge, einfacher  
25 beeinflussbar und modifizierbar sind.

Die Aufgabe wird gelöst mit dem im Anspruch 1 angegebenen,  
30 erfindungsgemäßen Regler.

Vorteil des erfindungsgemäßen Reglers ist es, daß die Eigenschaften statischer Fuzzy-Systeme und herkömmlicher, linearer dynamischer Regelglieder in Form von zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern zusammengeführt sind. Der Regler  
35 ist somit vorteilhaft ausschließlich mit Regelgliedern auf-

GEÄNDERTES BLATT

11.10.00.99

3a

baubar, welche jeweils systematisch dynamische Fuzzy-Eigenschaften aufweisen.

- Des weiteren vorteilhaft ist es, daß der erfindungsgemäße
- 5 Regler vollständig mit Standard Fuzzy-Reglersoftware programmierbar und parametrierbar ist. Beispielsweise ist der erfindungsgemäße Regler somit vorteilhaft in Software- und/oder Hardwareform realisierbar.
- 10 Besonders vorteilhaft ist es, daß die Übertragungseigenschaften der Fuzzy-Regelglieder gezielt und anschaulich modifizierbar sind. Ausgehend von Fuzzy-Regelgliedern mit einer zunächst insbesondere annähernd linearen Reglercharakteristik sind vorteilhaft gezielt gewünschte Regler-Nichtlinearitäten
- 15 einbringbar. Beispielsweise ist in dem erfindungsgemäßen Regler auf einfachste Weise eine bestimmte Reglercharakteristik

## Patentansprüche

1. Regler (RE) mit wenigstens einem Regelglied (FA1..FA8), insbesondere mit zumindest einer integrierenden (FA6, FA8) und/oder differenzierenden (FA7) Übertragungscharakteristik, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Regelglied (FA1..FA8) als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAX) aufgebaut ist, das eine Speichereinrichtung (MZ) zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen (F1, I1, D1, F2, I2, D2) aufweist.
2. Regler (RE) nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Fuzzy-Regelglied (FAX, FA1..FA8) aus einer Eingangsgröße ( $e(i)$ ) und aus einer inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen (F1, I1, D1, F2, I2, D2) die innere Zustandsgröße ( $z(i)$ ) derartig aktualisiert ( $z(i+1)$ ,  $F(z(i), e(i))$ ) und eine Ausgangsgröße ( $y(i)$ ) derartig erzeugt ( $G(z(i), e(i))$ ), daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) zumindest eine integrierende und/ oder eine differenzierende, insbesondere nichtlineare Übertragungscharakteristik ( $e(i)$ ,  $y(i)$ ) aufweist (FIG 7a).
3. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine erste statische Fuzzyeinrichtung ( $F(z(i), e(i))$ ) zur Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7b).
4. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine zweite statische Fuzzyeinrichtung ( $G(z(i), e(i))$ ) zur Erzeugung der Ausgangsgröße ( $y(i)$ ) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7c).

18

5. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß

- 5 a) die innere Zustandsgröße ( $z(i)$ ) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) durch wenigstens eine Folge von Bearbeitungszuständen ( $Z_m' \dots Z_1'$ ,  $Z_0$ ,  $Z_1 \dots Z_n$ ) gebildet wird, und
- b) das Fuzzy-Regelglied (FAX) bei einer Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) von einem bisherigen Bearbeitungszustand ( $Z_m' \dots Z_n$ ) zeitdiskret in einen folgenden Bearbeitungszustand ( $Z_m' \dots Z_n$ ) übergeht (FIG 8, FIG 9).
- 10

6. Verwendung eines Reglers (RE) nach einem der vorangegangenen Ansprüche zur Regelung eines technischen Prozesses.

15

ARTICLE 34

09 / 4 8 5 4 4 5

416 Rec'd PCT/PTO 11 FEB 2000

Marked up translating indication insertion of  
amended pages of IPER.



advantageously be constructed solely with control elements that each systematically have dynamic fuzzy properties.

It is also advantageous that the control unit of the invention can be programmed and parametrized entirely using standard fuzzy control unit software. For instance, the control unit of the invention can thus advantageously be used in either software or hardware form or both.

It is especially advantageous that the transfer properties of the fuzzy logic control elements can be modified in a targeted and clearly understood way. Based on fuzzy logic control elements with an initially in particular virtually linear control unit characteristic, desired control unit nonlinearities can advantageously be introduced in a targeted way. For instance, in the simplest way, in the control unit of the invention a certain control unit characteristic can be implemented that is definable in a targeted way, or in other words "designable", in particular by linguistic rules that are present in the fuzzy logic control elements, or in other words the fuzzy rules of the fuzzy logic conclusions.

Advantageously, the temporally discrete dynamic fuzzy logic control elements of the control unit of the invention are in particular in the form of so-called fuzzy automats, or automata. These automats have internal state variables that are updated on the basis of fuzzy logic conclusions. The output variable is also generated on the basis of fuzzy logic conclusions, in such a way that the fuzzy logic control element has the intended transfer characteristic, in particular at least an integrating and/or a differentiating transfer characteristic.

A further advantage is that internal state variables of the fuzzy logic control elements of the control unit of the invention are formed in particular by a succession of internal processing states, and when the internal state variable is updated, the fuzzy logic control element changes over from a former processing state into a subsequent processing state in a temporally discrete manner. The state variables are advantageously capable of being displayed in a clear way using a state graph.

The control unit of the invention is advantageously used to regulate a technical process.

Further advantageous embodiments of the invention are defined by the corresponding dependent claims.

## Claims

1. A control unit (RE) having at least one control element (FA1...FA8), in particular having at least one integrating transfer characteristic (FA6, FA8) and/or differentiating transfer characteristic (FA7),

characterized in that

the control element (FA1...FA8) is constructed as a temporally discrete dynamic fuzzy logic control element (FAx), and that the fuzzy logic control element (FAx) has a memory device (MZ) for buffer storage of a current internal state variable (Z(i)).

2. The control unit (RE) of claim 1,

characterized in that

the fuzzy logic control element (FAx, FA1...FA8), from an input variable ( $e(i)$ ) and from an internal state variable ( $z(i)$ ) on the basis of fuzzy logic conclusions (F1, I1, D1, F2, I2, D2) updates ( $z(i+1)$ ,  $f(z(i), e(i))$ ) the internal state variable ( $z(i)$ ) and generates ( $G(Z(i), e(i))$ ), an output variable ( $y(i)$ ) in such a way that the fuzzy logic control element (FAx) has at least one integrating and/or differentiating, in particular nonlinear transfer characteristic ( $e(i), y(i)$ ) (Fig. 7a).

3. The control unit (RE) of one of claims 1 or 2,

characterized in that

the fuzzy logic control element (FAx) has at least one first static fuzzy logic device ( $F(z(i), e(i))$ ) for updating the internal state variable ( $z(i)$ ) of the fuzzy logic control element (FAx) on the basis of fuzzy logic conclusions (Fig. 7b).

4. The control unit (RE) of one of claims 1 through 3,

characterized in that

the fuzzy logic control element (FAX) has at least one second static fuzzy logic device ( $G(z(i), e(i))$ ) for updating the output variable ( $y(i)$ ) of the fuzzy logic control element (FAX) on the basis of fuzzy logic conclusions (Fig. 7c).

5. The control unit (RE) of one of claims 1 through 4,

characterized in that

a) the internal state variable ( $z(i)$ ) of the fuzzy logic control element (FAX) is formed by at least one succession of processing states ( $Z_{m'}...Z_{1'}$ ,  $Z_0$ ,  $Z_1...Z_n$ ), and

b) the fuzzy logic control element (FAX), upon an updating of the internal state variable ( $z(i)$ ) from a previous processing state ( $Z_{m'}...Z_n$ ) changes over in temporally discrete fashion into a subsequent processing state ( $Z_{m'}...Z_n$ ) (Fig. 8, Fig. 9).

6. The use of a control unit (RE) of one of the foregoing claims for regulating a technical process.

# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

Absender: MIT DER INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN  
PRÜFUNG BEAUFTRAGTE BEHÖRDE

Übersender

21. OKT. 1999

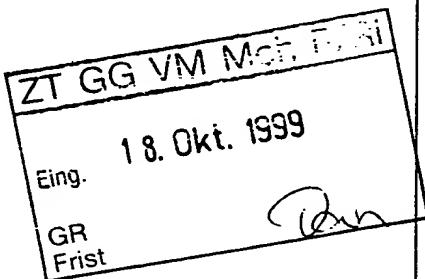
**PCT**

MITTEILUNG ÜBER DIE ÜBERSENDUNG  
DES INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN  
PRÜFUNGSBERICHTS

(Regel 71.1 PCT)

An:

SIEMENS AG  
Postfach 22 16 34  
80506 München  
ALLEMAGNE



Absendedatum  
(Tag/Monat/Jahr)

**15. 10. 99**

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts  
GR 97 P 3570 P

**WICHTIGE MITTEILUNG**

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE98/02163

Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr)  
29/07/1998

Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)  
11/08/1997

Anmelder

SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT et al.

1. Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß ihm die mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde hiermit den zu der internationalen Anmeldung erstellten internationalen vorläufigen Prüfungsbericht, gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen, übermittelt.
2. Eine Kopie des Berichts wird - gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen - dem Internationalen Büro zur Weiterleitung an alle ausgewählten Ämter übermittelt.
3. Auf Wunsch eines ausgewählten Amtes wird das Internationale Büro eine Übersetzung des Berichts (jedoch nicht der Anlagen) ins Englische anfertigen und diesem Amt übermitteln.

#### 4. ERINNERUNG

Zum Eintritt in die nationale Phase hat der Anmelder vor jedem ausgewählten Amt innerhalb von 30 Monaten ab dem Prioritätsdatum (oder in manchen Ämtern noch später) bestimmte Handlungen (Einreichung von Übersetzungen und Entrichtung nationaler Gebühren) vorzunehmen (Artikel 39 (1)) (siehe auch die durch das Internationale Büro im Formblatt PCT/IB/301 übermittelte Information).

Ist einem ausgewählten Amt eine Übersetzung der internationalen Anmeldung zu übermitteln, so muß diese Übersetzung auch Übersetzungen aller Anlagen zum internationalen vorläufigen Prüfungsbericht enthalten. Es ist Aufgabe des Anmelders, solche Übersetzungen anzufertigen und den betroffenen ausgewählten Ämtern direkt zuzuleiten.

Weitere Einzelheiten zu den maßgebenden Fristen und Erfordernissen der ausgewählten Ämter sind Band II des PCT-Leitfadens für Anmelder zu entnehmen.

Name und Postanschrift der mit der internationalen Prüfung beauftragten Behörde



Europäisches Patentamt  
D-80298 München  
Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d  
Fax: +49 89 2399 - 4465

Bevollmächtigter Bediensteter

Kellerer, C

Tel. +49 89 2399-2261



# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

## PCT



### INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts <b>GR 97 P 3570 P</b>	<b>WEITERES VORGEHEN</b> siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsbericht (Formblatt PCT/IPEA/416)	
Internationales Aktenzeichen <b>PCT/DE98/02163</b>	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) <b>29/07/1998</b>	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) <b>11/08/1997</b>
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK <b>G05B19/00</b>		
Anmelder <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.</b>		

1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationale vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.
2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 4 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.  
  
☒ Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).  
  
Diese Anlagen umfassen insgesamt 4 Blätter.

3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:  
  
I ☒ Grundlage des Berichts  
II ☐ Priorität  
III ☐ Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit  
IV ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung  
V ☒ Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderische Tätigkeit und der gewerbliche Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung  
VI ☐ Bestimmte angeführte Unterlagen  
VII ☐ Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung  
VIII ☐ Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags  <b>10/03/1999</b>	Datum der Fertigstellung dieses Berichts  <b>15. 10. 99</b>
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:   Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Bevollmächtigter Bediensteter  <b>Messelken, M</b>  Tel. Nr. +49 89 2399 2256  

# INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163

## I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigelegt, weil sie keine Änderungen enthalten.*).

### Beschreibung, Seiten:

1,2,4-16                      ursprüngliche Fassung

3,3a                      eingegangen am                      18/08/1999    mit Schreiben vom                      16/08/1999

### Patentansprüche, Nr.:

1-6                      eingegangen am                      18/08/1999    mit Schreiben vom                      16/08/1999

### Zeichnungen, Blätter:

1/6-6/6                      ursprüngliche Fassung

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung,                      Seiten:
- ☐ Ansprüche,                      Nr.:
- ☐ Zeichnungen,                      Blatt:

3. ☐ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)):

4. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

# INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163

## V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

### 1. Feststellung

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche	1-6
	Nein: Ansprüche	
Erfinderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche	1-6
	Nein: Ansprüche	
Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)	Ja: Ansprüche	1-6
	Nein: Ansprüche	

### 2. Unterlagen und Erklärungen

**siehe Beiblatt**

**Zu Punkt V**

**Begründete Feststellung nach Regel 66.2(a)(ii) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

- 1 Die vorliegende Anmeldung betrifft ein Regler mit wenigstens einem Regelglied, daß als zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied aufgebaut ist.
- 2 Die Druckschrift US 5,272,621 bildet den nächstkommenden Stand der Technik. Sie zeigt einen Regler mit einem Fuzzy-PI-Regelglied zur Regelung nichtlinearer Prozesse. Der Regler ist auf einer zeitdiskreten elektronischen Datenverarbeitungseinrichtung realisiert. Diese enthält eine Speichereinrichtung zur Zwischenspeicherung aktueller innerer Zustandsgrößen, insbesondere für die Bildung des Integralanteiles der Regelabweichung.
- 3 Der Gegenstand des Anspruchs 1 unterscheidet sich von diesem Stand der Technik dadurch, daß eine Speichereinrichtung zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen vorgesehen ist.
- 4 Dies ist aus dem Stand der Technik weder bekannt noch durch ihn nahegelegt.



Aus dem Dokument WO 96/31304 und aus 'Breakout Prediction for Continuous Casting by Fuzzy Mealy Automata', Proceedings of the 3rd European Congress of Intelligent Techniques and Soft Computing EUFIT, Aachen, 29.-31 August 1995, Seiten 754 bis  
5 759, J. Adamy, ist ein als Fuzzy-Automat bezeichnetes, dynamische Fuzzy-System zur Durchbruch-Früherkennung beim Stranggießen bekannt.

Aus der US 5,272,621 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung  
10 zur Steuerung eines Prozesses mit Totzeit bekannt. Das Verfahren beinhaltet eine Auswertung von Eingangssignalen in der Weise, daß Prozeß-Ausgangsantworten in Relation zu bekannten Eingangsinformationen gesetzt werden. Die Eingangs-Auswertekriterien sind dabei in einer oder mehreren der Integrator-,  
15 Proportional- und Differenzial-Prozeßantworten repräsentiert.

Aus der DE 44 20 800 A1 ist ein Fuzzy-PID-Regler bekannt, bei dem zur Verkürzung der bei der Ermittlung der Stellgröße benötigten Rechenzeit durch Einschränkung der verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen die Regelmenge auf zwei Regeln minimiert  
20 wird, wobei die Fuzzyfizierungs-, in Differenz- und Defuzzyfizierungsmethoden frei wählbar sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Regler mit Fuzzy-Eigenschaften so zu verbessern, daß die Regelvorgänge, insbesondere die Integrations- und Differentiationsvorgänge, einfacher  
25 beeinflußbar und modifizierbar sind.

Die Aufgabe wird gelöst mit dem im Anspruch 1 angegebenen,  
30 erfindungsgemäßen Regler.

Vorteil des erfindungsgemäßen Reglers ist es, daß die Eigenschaften statischer Fuzzy-Systeme und herkömmlicher, linearer dynamischer Regelglieder in Form von zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern zusammengeführt sind. Der Regler  
35 ist somit vorteilhaft ausschließlich mit Regelgliedern auf-

11.10.99

3a

baubar, welche jeweils systematisch dynamische Fuzzy-Eigenschaften aufweisen.

- Des weiteren vorteilhaft ist es, daß der erfindungsgemäße
- 5 Regler vollständig mit Standard Fuzzy-Reglersoftware programmierbar und parametrierbar ist. Beispielsweise ist der erfindungsgemäße Regler somit vorteilhaft in Software- und/oder Hardwareform realisierbar.
- 10 Besonders vorteilhaft ist es, daß die Übertragungseigenschaften der Fuzzy-Regelglieder gezielt und anschaulich modifizierbar sind. Ausgehend von Fuzzy-Regelgliedern mit einer zunächst insbesondere annähernd linearen Reglercharakteristik sind vorteilhaft gezielt gewünschte Regler-Nichtlinearitäten
- 15 einbringbar. Beispielsweise ist in dem erfindungsgemäßen Regler auf einfachste Weise eine bestimmte Reglercharakteristik

10/11/99  
X

11.10.99

## Patentansprüche

1. Regler (RE) mit wenigstens einem Regelglied (FA1..FA8), insbesondere mit zumindest einer integrierenden (FA6, FA8) und/oder differenzierenden (FA7) Übertragungscharakteristik, dadurch gekennzeichnet, daß das Regelglied (FA1..FA8) als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAX) aufgebaut ist, das eine Speichereinrichtung (MZ) zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen ( $F1, I1, D1, F2, I2, D2$ ) aufweist.
2. Regler (RE) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX, FA1..FA8) aus einer Eingangsgröße ( $e(i)$ ) und aus einer inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen ( $F1, I1, D1, F2, I2, D2$ ) die innere Zustandsgröße ( $z(i)$ ) derartig aktualisiert ( $z(i+1), F(z(i), e(i))$ ) und eine Ausgangsgröße ( $y(i)$ ) derartig erzeugt ( $G(z(i), e(i))$ ), daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) zumindest eine integrierende und/oder eine differenzierende, insbesondere nichtlineare Übertragungscharakteristik ( $e(i), y(i)$ ) aufweist (FIG 7a).
3. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine erste statische Fuzzyeinrichtung ( $F(z(i), e(i))$ ) zur Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7b).
4. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine zweite statische Fuzzyeinrichtung ( $G(z(i), e(i))$ ) zur Erzeugung der Ausgangsgröße ( $y(i)$ ) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7c).

18

5. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß

- 5 a) die innere Zustandsgröße ( $z(i)$ ) des Fuzzy-Regelglieds  
(FAX) durch wenigstens eine Folge von Bearbeitungszu-  
ständen ( $Z_m' \dots Z_1'$ ,  $Z_0$ ,  $Z_1 \dots Z_n$ ) gebildet wird, und
- b) das Fuzzy-Regelglied (FAX) bei einer Aktualisierung der  
inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) von einem bisherigen Bear-  
10 beitungszustand ( $Z_m' \dots Z_n$ ) zeitdiskret in einen folgenden  
Bearbeitungszustand ( $Z_m' \dots Z_n$ ) übergeht (FIG 8, FIG 9).

6. Verwendung eines Reglers (RE) nach einem der vorangegan-  
nen Ansprüche zur Regelung eines technischen Prozesses.

15

## Beschreibung

Regler mit zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern

5 In herkömmlichen Reglern als Regelglied eingesetzte Fuzzy-Systeme sind statische Systeme und verfügen als solche nicht über dynamische Übertragungseigenschaften. Sie weisen deshalb die Eigenschaften von nichtlinearen, statischen Übertragungsgliedern auf.

10

Um dynamische Regeleigenschaften eines Fuzzy-Reglers zu realisieren, ist es bekannt, statische Fuzzy-Systeme mit herkömmlichen, linearen Dynamik-Regelgliedern zu kombinieren. Derartige lineare Dynamik-Regelglieder weisen insbesondere  
15 eine integrierende, differenzierende oder proportionale Übertragungscharakteristik oder auch beliebige Kombinationen davon auf. Beispielsweise werden derartige lineare Dynamik-Regelglieder auch als sogenannte I-, D-, P-, PI-, PD- oder PID-Regelglieder bezeichnet.

20

Wie in den Figuren 1 und 2 dargestellt, ist es bekannt, bei einem Regler RE' lineare Dynamik-Regelglieder mit einer integrierenden, differenzierenden und/oder proportionalen Übertragungscharakteristik entweder vor, wie in der Figur 1 dargestellt ist, oder auch einem statischen Fuzzy-System-Regelglied FU nachzuschalten, wie in der Figur 2 dargestellt. In den Figuren 1 und 2 sind jeweils beispielhaft ein lineares  
25 Dynamik-Regelglied R1' mit proportionaler, ein lineares Dynamik-Regelglied R2' mit integrierender und ein lineares Dynamik-Regelglied R3' mit differenzierender Übertragungscharakteristik dargestellt. Die in den Figuren 1 und 2 dargestellten, bekannten Regler RE' mit Fuzzy-Eigenschaften weisen durch die linearen Dynamik-Regelglieder R1' bis R3' insbesondere die dynamischen Eigenschaften eines sogenannten PID-Reglers auf.  
35

Aus Koch, Mario u. a. Fuzzy-Control, R. Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1996, Seiten 29-32 und 249-266 ist es bekannt, zur Erzeugung dynamischer Übertragungseigenschaften, einem Regler mit integrierenden und/oder differenzierenden Übertragungseigenschaften ein Fuzzy-System vor-oder nachzuschalten.

Die in den Figuren 1 und 2 beispielhaft dargestellten, bekannten Regler RE' weisen in der Regel eine Führungsgröße  $w'$ , insbesondere zur Vorgabe eines Regelsollwertes und eine Rückführgröße  $r'$  auf. Die Rückführgröße  $r'$  wird dabei im Regler RE' von der Führungsgröße  $w'$  subtrahiert und als Regeldifferenz  $e' = w' - r'$  den Regelgliedern R1' bis R3' bzw. dem Fuzzy-System-Regelglied FU zugeführt. Deren Ausgangsgrößen, d.h. der Regelglieder R1' bis R3' bzw. des Fuzzy-System-Regelglieds FU, sind im Regler RE' zusammengeführt und dienen als Ausgangsgröße  $y'$  des Reglers RE' insbesondere zur Regelung eines technischen Prozesses, von dem die Rückführgröße  $r'$  insbesondere als sogenannter Regelistwert zurück zum Regler RE' geführt ist.

Nachteilig ist es, daß den herkömmlichen Reglern mit Fuzzy-Eigenschaften die Kombination von zwei unterschiedlichen Systemen, nämlich statischen Fuzzy-Systemen mit linearen Dynamik-Regelglieder-Systemen zugrunde liegt. Besonders nachteilig ist es, daß das gezielte Einbringen von Nichtlinearitäten gar nicht oder nicht ohne erheblichen Aufwand möglich ist, da insbesondere Kenntnisse der Kennfeldregelung oder sonstige Zusatzkenntnisse erforderlich sind. Die Beeinflussung und Modifizierung der Regeleigenschaften ist dadurch sehr aufwendig oder überhaupt nicht realisierbar. Des weiteren sind hiermit bestimmte, in der Regelungstechnik erwünschte Reglereigenschaften nicht realisierbar, wie insbesondere eine nichtlineare, begrenzte Integrations-Regelcharakteristik, wie beispielsweise die sogenannte 'Anti-Wind-Up'-Regelcharakteristik.

Aus dem Dokument WO 96/31304 und aus 'Breakout Prediction for Continuous Casting by Fuzzy Mealy Automata', Proceedings of the 3rd European Congress of Intelligent Techniques and Soft Computing EUFIT, Aachen, 29.-31 August 1995, Seiten 754 bis  
5 759, J. Adamy, ist ein als Fuzzy-Automat bezeichnetes, dynamische Fuzzy-System zur Durchbruch-Früherkennung beim Stranggießen bekannt.

10 Aufgabe der Erfindung ist es, einen Regler mit Fuzzy-Eigenschaften so zu verbessern, daß die Regelvorgänge, insbesondere die Integrations- und Differentiationsvorgänge, einfacher beeinflussbar und modifizierbar sind.

15 Die Aufgabe wird gelöst mit dem im Anspruch 1 angegebenen, erfindungsgemäßen Regler.

Vorteil des erfindungsgemäßen Reglers ist es, daß die Eigenschaften statischer Fuzzy-Systeme und herkömmlicher, linearer dynamischer Regelglieder in Form von zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern zusammengeführt sind. Der Regler  
20 ist somit vorteilhaft ausschließlich mit Regelgliedern aufbaubar, welche jeweils systematisch dynamische Fuzzy-Eigenschaften aufweisen.

25 Des weiteren vorteilhaft ist es, daß der erfindungsgemäße Regler vollständig mit Standard Fuzzy-Reglersoftware programmierbar und parametrierbar ist. Beispielsweise ist der erfindungsgemäße Regler somit vorteilhaft in Software- und/oder Hardwareform realisierbar.

30 Besonders vorteilhaft ist es, daß die Übertragungseigenschaften der Fuzzy-Regelglieder gezielt und anschaulich modifizierbar sind. Ausgehend von Fuzzy-Regelgliedern mit einer zunächst insbesondere annähernd linearen Reglercharakteristik  
35 sind vorteilhaft gezielt gewünschte Regler-Nichtlinearitäten einbringbar. Beispielsweise ist in dem erfindungsgemäßen Regler auf einfachste Weise eine bestimmte Reglercharakteristik

implementierbar, welche insbesondere durch in den Fuzzy-Regelgliedern vorliegende linguistische Regeln, d.h. der Fuzzy-Regeln der Fuzzy-Folgerungen gezielt definierbar, also 'designbar' ist.

5

Vorteilhaft liegen die zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieder des erfindungsgemäßen Reglers insbesondere in Form sogenannter Fuzzy-Automaten vor. Diese weisen innere Zustandsgrößen auf, welche auf Grund von Fuzzy-Folgerungen aktualisiert werden. Die Ausgangsgröße wird ebenfalls auf Grund von Fuzzy-Folgerungen derartig erzeugt, daß das Fuzzy-Regelglied die vorgesehene Übertragungscharakteristik, insbesondere zumindest eine integrierende und/oder eine differenzierende Übertragungscharakteristik aufweist.

15

Ein weiterer Vorteil ist es, daß innere Zustandsgrößen der Fuzzy-Regelglieder des erfindungsgemäßen Reglers insbesondere durch eine Folge von inneren Bearbeitungszuständen gebildet werden, wobei das Fuzzy-Regelglied bei einer Aktualisierung der inneren Zustandsgröße von einem bisherigen Bearbeitungszustand zeitdiskret in einen folgenden Bearbeitungszustand übergeht. Die Zustandsgrößen sind vorteilhaft mittels eines Zustandsgraphen graphisch anschaulich darstellbar.

25 Vorteilhaft dient der erfindungsgemäße Regler zur Regelung eines technischen Prozesses.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den entsprechenden Unteransprüchen angegeben.

30

Die Erfindung wird des weiteren anhand der in den nachfolgend kurz angeführten und teilweise bereits oben erläuterten Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele weiter erläutert. Dabei zeigt beispielhaft:

35 FIG 1 einen bekannten Regler mit Fuzzy-Eigenschaften, welcher ein herkömmliches statisches Fuzzy-System auf-



weist, welchem drei lineare Dynamik-Regelglieder mit einer integrierenden, differenzierenden bzw. proportionalen Übertragungscharakteristik vorgeschaltet sind,

- 5    FIG 2    eine Ausführungsform des bekannten und bereits in der Figur 1 dargestellten Reglers mit dem herkömmlichen statischen Fuzzy-System nachgeschalteten linearen Dynamik-Regelgliedern,
- 10    FIG 3    einen erfindungsgemäßen Regler mit einem zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglied,
- 15    FIG 4    einen erfindungsgemäßen Regler mit drei parallel geschalteten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern,
- 20    FIG 5    eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reglers gemäß der Figur 4, wobei ein sogenannter PID-Regler gebildet wird, welcher eine integrierend-differenzierend-proportionale Übertragungscharakteristik aufweist,
- 25    FIG 6    eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reglers gemäß der Figur 5, wobei die Fuzzy-Regelglieder mit integrierender und differenzierender Übertragungscharakteristik in einem Fuzzy-Regelglied zusammengefaßt sind,
- 30    FIG 7a    die innere Struktur einer allgemeinen Ausführungsform eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds, welches eine erste und zweite statische Fuzzyeinrichtung und eine Speichereinrichtung für die innere Zustandsgröße aufweist,
- 30    FIG 7b    die innere Struktur einer bevorzugten Ausführungsform der ersten statischen Fuzzyeinrichtung eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds,

- FIG 7c die innere Struktur einer bevorzugten Ausführungsform der zweiten statischen Fuzzyeinrichtung eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds,
- 5 FIG 8 einen Zustandsgraphen eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit integrierender Übertragungscharakteristik,
- FIG 9 einen Zustandsgraphen eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit differenzierender Übertragungscharakteristik,
- 10 FIG 10 ein beispielhaftes Diagramm zur Darstellung der Eingangs- und Ausgangsgröße des in der Figur 8 dargestellten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit integrierender Übertragungscharakteristik für den Spezialfall einer linear ausgelegten Übertragungscharakteristik,
- 15
- FIG 11 ein beispielhaftes Diagramm zur Darstellung der Eingangs- und Ausgangsgröße des in der Figur 9 dargestellten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit differenzierender Übertragungscharakteristik für den Spezialfall einer linear ausgelegten Übertragungscharakteristik,,
- 20
- FIG 12a einen Zustandsgraphen eines ersten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit integrierender Übertragungscharakteristik, welches durch gezieltes Einbringen von Nichtlinearitäten als sogenanntes 'Anti-Wind-Up'-Regelglied modifiziert ist,
- 25
- FIG 12b einen Zustandsgraphen eines ersten, als sogenanntes 'Anti-Wind-Up'-Regelglied modifizierten Fuzzy-Regelglieds, und
- 30 FIG 13 einen Zustandsgraphen eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit differenzierender Übertragungscharakteristik, wobei im Bearbeitungszustand

Z kleine Eingabegrößen nicht auf die Ausgangsgröße wirken.

In der Figur 3 ist beispielhaft die Struktur eines erfindungsgemäßen Reglers RE mit wenigstens einem Regelglied FA1 dargestellt. Das Regelglied FA1 weist insbesondere zumindest eine integrierende und/oder differenzierende Übertragungscharakteristik auf. Gemäß der Erfindung ist das Regelglied FA1 als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied aufgebaut. Der erfindungsgemäße Regler RE ist dabei nicht auf ein einziges zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied beschränkt, sondern kann auch beliebige Verschaltungen von mehreren Fuzzy-Regelgliedern aufweisen. Insbesondere kann der erfindungsgemäße Regler RE auch zusätzlich eine Kombination von zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern mit herkömmlichen, linearen Dynamik-Regelgliedern aufweisen.

Wie in der Figur 4 dargestellt ist, weist der erfindungsgemäße Regler RE insbesondere auch mehrere zeitdiskrete, dynamische Fuzzy-Regelglieder auf, beispielsweise drei parallel angeordnete zeitdiskrete, dynamische Fuzzy-Regelglieder FA2, FA3 und FA4. Vorteilhaft ist die Gesamt-Übertragungscharakteristik auf die einzelnen Fuzzy-Regelglieder FA2 bis FA4 aufgeteilt, wobei jedes Fuzzy-Regelglied FA2 bis FA4 eine bestimmte Komponente der Gesamt-Übertragungscharakteristik bewirkt.

In Figur 5 ist eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reglers RE dargestellt, welcher beispielsweise durch die drei parallel angeordneten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieder FA5, FA6 und FA7 eine integrierend-differenzierend-proportionale Übertragungscharakteristik aufweist. Dabei weist beispielsweise das Fuzzy-Regelglied FA5 ein proportionales, das Fuzzy-Regelglied FA6 eine integrierende und das Fuzzy-Regelglied FA7 eine differenzierende Übertragungscharakteristik auf. Der in Figur 5 dargestellte

Regler RE entspricht somit einem sogenannten PID-Regler mit Fuzzy-Eigenschaften.

In der Figur 6 ist des weiteren beispielhaft ein erfindungsgemäßer Regler RE mit einem zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglied FA8 dargestellt, welches eine integrierend-proportionale Übertragungscharakteristik aufweist. Der in Figur 6 dargestellte Regler RE entspricht somit einem sogenannten PI-Regler mit Fuzzy-Eigenschaften.

10

Dem in den Figuren 3 bis 6 dargestellten erfindungsgemäßen Regler RE mit dessen beispielhaft aufgeführten Ausführungsformen sind insbesondere eine auch als Regelsollwert bezeichnete Führungsgröße  $w$  und eine insbesondere auch als Regelistwert bezeichnete Rückführgröße  $r$  zugeführt. Die aus Führungsgröße  $w$  und Rückführgröße  $r$  gebildete Regeldifferenz ist den zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern FA1, FA2 bis FA4, FA5 bis FA7, bzw. FA8 als Eingangsgröße  $e(i) = w - r$  zugeführt. Die Ausgänge der jeweiligen Fuzzy-Regelglieder FA1, FA2 bis FA4, FA5 bis FA7, bzw. FA8 sind insbesondere im Regler RE zur Ausgangsgröße  $y(i)$  zusammengeführt, beispielsweise durch eine direkte Addition oder eine gewichtete Addition.

25

In Figur 7a ist beispielhaft die innere Struktur eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds FAX dargestellt, welches eine allgemeine Ausführungsform der in den Figuren 3 bis 6 dargestellten Fuzzy-Regelglieder FA1, FA2 bis FA4, FA5 bis FA7 und FA8 beschreibt. Das Fuzzy-Regelglied FAX weist

30

dabei mit Bezug auf die Figuren 3 bis 6 die Eingangsgröße  $e(i)$  und die Ausgangsgröße  $y(i)$  auf. Eingangs- und Ausgangsgröße  $e(i)$  bzw.  $y(i)$  können insbesondere Vektorgrößen sein, d.h. Eingangs- und Ausgangsgröße  $e(i)$  bzw.  $y(i)$  können auch in Form mehrerer Eingangs- bzw. Ausgangswerte vorliegen. Ge-

35

mäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung aktualisiert das Fuzzy-Regelglied aus der Eingangsgröße  $e(i)$  und aus einer inneren Zustandsgröße  $z(i)$  auf der Grundlage von Fuzzy-

Folgerungen die innere Zustandsgröße  $z(i)$  derartig, daß das Fuzzy-Regelglied FAX zumindest eine integrierende und/oder eine differenzierende, insbesondere nichtlineare Übertragungsscharakteristik aufweist. Die aktuelle Zustandsgröße  $z(i)$   
5 kann insbesondere eine Vektorgröße sein.

Zur Aktualisierung der inneren Zustandsgröße  $z(i)$  des Fuzzy-Regelglieds FAX auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen weist das Fuzzy-Regelglied FAX des erfindungsgemäßen Reglers RE  
10 bevorzugt wenigstens eine erste statische Fuzzyeinrichtung  $F(z(i), e(i))$  auf. Diese erzeugt aus der Eingangsgröße  $e(i)$  und der aktuellen inneren Zustandsgröße  $z(i)$  die der zeitlich auf diese folgende, innere Zustandsgröße  $z(i+1)$ . Zeitdiskret geht das Fuzzy-Regelglied FAX von der aktuellen inneren Zu-  
15 standsgröße  $z(i)$  in die folgende, innere Zustandsgröße  $z(i+1)$  über. Beispielsweise liegt eine durch ein Taktsignal vorgegebenen Taktrate vor, mit der das Fuzzy-Regelglied FAX die innere Zustandsgröße  $z(i)$  aktualisiert.

20 Des weiteren weist das Fuzzy-Regelglied FAX zusätzlich bevorzugt wenigstens eine zweite statische Fuzzyeinrichtung  $G(z(i), e(i))$  auf, um die Ausgangsgröße  $y(i)$  des Fuzzy-Regelglieds FAX auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerung zu erzeugen. Diese erzeugt aus der Eingangsgröße  $e(i)$  und der aktuellen  
25 inneren Zustandsgröße  $z(i)$  die aktuelle Ausgangsgröße  $y(i)$ . Sind die erste und zweite Fuzzyeinrichtung  $F(z(i), e(i))$  bzw.  $G(z(i), e(i))$  funktionsgleich, beispielsweise soll die innere Zustandsgröße  $z(i)$  den gleichen Wert aufweisen wie die Ausgangsgröße  $y(i)$ , so ist die zweite Fuzzyeinrichtung  
30  $G(z(i), e(i))$  nicht erforderlich.

Insbesondere weist das in Figur 7a dargestellte Fuzzy-Regelglied FAX eine Speichereinrichtung MZ zur Zwischenspeicherung der aktuellen inneren Zustandsgröße  $z(i)$  auf. Durch die Spei-  
35 chereinrichtung MZ wird die aktuelle innere Zustandsgröße  $z(i)$  gespeichert und zeitdiskret die von der ersten stati-

schen Fuzzyeinrichtung  $F(z(i), e(i))$  erzeugte folgende, innere Zustandsgröße  $z(i+1)$  übernommen.

In den Figuren 7b und 7c ist beispielhaft die erste statische Fuzzyeinrichtung  $F(z(i), e(i))$  bzw. die zweite statische Fuzzyeinrichtung  $G(z(i), e(i))$  dargestellt. Die statischen Fuzzyeinrichtungen  $F(z(i), e(i))$  und  $G(z(i), e(i))$  werden insbesondere deshalb als statisch bezeichnet, weil zeitältere Werte nicht bei der Erzeugung von neuen Werten berücksichtigt werden. Über eine der ersten und zweiten Fuzzyeinrichtung  $F(z(i), e(i))$  bzw.  $G(z(i), e(i))$  in der Regel zugrunde liegende Fuzzifizierungseinheit  $F1$  bzw.  $F2$ , eine Inferenzeinheit  $I1$  bzw.  $I2$  und eine Defuzzifizierungseinheit  $D1$  bzw.  $D2$  werden auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen die folgende, innere Zustandsgröße  $z(i+1)$  bzw. die Ausgangsgröße  $y(i)$  erzeugt.

Durch die zeitdiskrete Übernahme der folgenden, inneren Zustandsgröße  $z(i+1)$  beispielsweise durch die Speichereinrichtung  $MZ$  des dynamischen Fuzzy-Regelglieds  $FAX$ , wird der ersten und zweiten statischen Fuzzyeinrichtung  $F(z(i), e(i))$  bzw.  $G(z(i), e(i))$  die neue innere Zustandsgröße  $z(i+1)$  als die nunmehr aktuelle, innere Zustandsgröße  $z(i)$  zugeführt. Ein derartig aufgebautes Fuzzy-Regelglied  $FAX$  wird insbesondere als Fuzzy-Automat bezeichnet.

25

In den Figuren 8 und 9 sind zwei zeitdiskrete, dynamische Fuzzy-Regelglieder  $FAX$  beispielhaft anhand von durch die entsprechende Zustandsgröße  $z(i)$  einnehmbaren Bearbeitungszuständen  $Zm'$  bis  $Zn$  beschrieben. Diese weitere Ausführungsform der Erfindung ist anhand von Zustandsgraphen des zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds  $FAX$  dargestellt. Der in der Figur 8 dargestellte Zustandsgraph beschreibt ein Fuzzy-Regelglied  $FAX$  mit einer integrierenden Übertragungscharakteristik und der in der Figur 9 dargestellte Zustandsgraph beschreibt ein Fuzzy-Regelglied  $FAX$  mit einer differenzierenden Übertragungscharakteristik. Dabei wird gemäß der vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung die innere Zustandsgröße

$z(i)$  des Fuzzy-Regelglieds FAX durch wenigstens eine Folge von Bearbeitungszuständen  $Z_{m'}$  bis  $Z_{l'}$ ,  $Z_0$ ,  $Z_1$  bis  $Z_n$  gebildet, wobei das Fuzzy-Regelglied FAX bei einer Aktualisierung der inneren Zustandsgröße  $z(i)$  auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen von einem bisherigen Bearbeitungszustand zeitdiskret in einen folgenden Bearbeitungszustand übergeht.

Die in den Figuren 8 und 9 aufgeführten Beispiele bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung sind beispielhaft auf die jeweils fünf fettgedruckt dargestellten Bearbeitungszustände  $Z_{2'}$  bis  $Z_2$  beschränkt. Die Anzahl der Bearbeitungszustände ist selbstverständlich nicht auf die in den aufgeführten Beispielen beschränkt, sondern ist in beide Richtungen beliebig erweiterbar, wie beispielhaft durch die gestrichelten Bearbeitungszustände  $Z_{m'}$  und  $Z_{n'}$  angedeutet dargestellt ist.

Jedem der Bearbeitungszustände  $Z_{2'}$  bis  $Z_2$  ist eine bestimmte Wertigkeit zugeordnet, beispielsweise NM für mittlere negative Werte, NS für kleine negative Werte, Z für Werte, welche annähernd die Größe Null aufweisen, PS für kleine positive Werte oder PM für mittlere positive Werte. Die Pfeile in den Zustandsgraphen geben den Wechsel von einem aktuellen Bearbeitungszustand des Fuzzy-Regelglieds FAX in einen folgenden Bearbeitungszustand an. Den Pfeilen sind Bezugszeichen zugeordnet, welche die Eingangsgröße  $e(i)$  und die Ausgangsgröße  $y(i)$  angeben. Die Wertigkeiten der Bearbeitungszustände  $Z_{2'}$  bis  $Z_2$  dienen dabei insbesondere auch als Fuzzy-Werte für die Eingangs- und Ausgangsgröße  $e(i)$  bzw.  $y(i)$  des Fuzzy-Regelglieds FAX. Die Bezeichnungen erfolgen dabei in Form von Eingangsgröße/Ausgangsgröße  $e(i)/y(i)$ . Die Wertigkeitszuordnungen für Eingangs- und Ausgangsgröße  $e(i)$  bzw.  $y(i)$  können aber insbesondere auch unabhängig voneinander und unabhängig von den Wertigkeitszuordnungen der Bearbeitungszustände sein.

Die in den Zustandsdiagrammen dargestellten Pfeile zur Beschreibung der möglichen Übergänge zwischen den Bearbeitungszuständen  $Z_{2'}$  bis  $Z_2$  und der entsprechenden Ausgangsgrößen

$y(i)$  bei bestimmten Eingangsgrößen  $e(i)$  dienen insbesondere zur Ableitung von Fuzzy-Folgerungen für das Fuzzy-Regelglied FAX. Auf der Grundlage dieser Fuzzy-Folgerungen wird die innere Zustandsgröße  $z(i)$  insbesondere durch die erste statische Fuzzy-Einrichtung  $F(z(i), e(i))$  und die Ausgangsgröße  $y(i)$  insbesondere durch die zweite statische Fuzzy-Einrichtung  $G(z(i), e(i))$  gemäß dem Zustandsdiagramm aktualisiert bzw. erzeugt, wie in Figur 7b bzw. 7c beispielhaft dargestellt ist. Beispielsweise sind zwei Fuzzy-Folgerungen:

10 WENN aktueller Bearbeitungszustand PS UND Eingangsgröße mit kleinem positivem Wert PS vorliegt, DANN sind folgender Bearbeitungszustand PM und Ausgangsgröße mittlerer positiver Wert PM.

15 In den beispielhaften Zustandsgraphen der Figuren 8 und 9 sind die Regeln, d.h. insbesondere die Fuzzy-Folgerungen, wiedergegeben, mit denen das Fuzzy-Regelglied FAX gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform aus der Eingangsgröße  $e(i)$  und aus dem Bearbeitungszustand  $Z2'$  bis  $Z2$  den Bearbeitungszustand  $Z2'$  bis  $Z2$  derartig aktualisiert und die Ausgangsgröße  $y(i)$  derartig erzeugt, daß das Fuzzy-Regelglied FAX zumindest eine integrierende bzw. eine differenzierende Übertragungscharakteristik aufweist.

25 Den hier dargestellten vorteilhaften Ausführungsformen liegt bei geeigneter Wahl der den Fuzzy-Folgerungen zugrundeliegenden Zugehörigkeitsfunktionen und der zugrundeliegenden Inferenzgröße zunächst nur eine lineare oder zumindest annähernd lineare Übertragungscharakteristik des Fuzzy-Regelglieds FAX zugrunde. Diese Übertragungscharakteristik bildet eine vorteilhafte Ausgangsbasis für Modifizierungen, beispielsweise

30 in Form von gezieltem Einbringen von Nichtlinearitäten.

Der in der Figur 8 dargestellte Zustandsgraph eines Fuzzy-Regelglieds FAX weist Regeln für Fuzzy-Folgerungen auf, welche eine integrierende Übertragungscharakteristik des Fuzzy-Regelglieds FAX bewirken. Vorteilhaft weisen dabei die Ausgangsgröße  $y(i)$  und die aktualisierte innere Zustandsgröße

35



$z(i+1)$ , d.h. der folgende Bearbeitungszustand  $Z2'$  bis  $Z2$  den gleichen Wert NM, NS, Z, PS oder PM auf.

- Beispielsweise bei Eingangsgrößen  $e(i)$ , welche annähernd den Wert Z aufweisen, verbleibt das Fuzzy-Regelglied FAX im vorherigen Bearbeitungszustand  $Z2'$  bis  $Z2$ . Bei kleinen positiven Werten PS der Eingangsgröße  $e(i)$  geht das Fuzzy-Regelglied FAX in den nächst höheren Bearbeitungszustand über, d.h. beispielsweise von PS nach PM. Bei kleinen negativen Werten NS der Eingangsgröße  $e(i)$  geht das Fuzzy-Regelglied FAX in den nächst niedrigeren Bearbeitungszustand über, d.h. beispielsweise von PS nach Z. Bei mittleren positiven Werten PM der Eingangsgröße  $e(i)$  geht das Fuzzy-Regelglied FAX insbesondere in den zweitnächst höheren Bearbeitungszustand über, d.h. beispielsweise von Z nach PM. Bei mittleren negativen Werten NM der Eingangsgröße  $e(i)$  geht das Fuzzy-Regelglied FAX insbesondere in den zweitnächst niedrigeren Bearbeitungszustand über, d.h. beispielsweise von Z nach NM.
- Der in der Figur 9 dargestellte Zustandsgraph eines Fuzzy-Regelglieds FAX weist Regeln für Fuzzy-Folgerungen auf, welche eine differenzierende Übertragungscharakteristik des Fuzzy-Regelglieds FAX bewirken. Vorteilhaft weist dabei der aktualisierte, d.h. folgende Bearbeitungszustand  $Z2'$  bis  $Z2$  den gleichen Wert NM bis PM wie die Eingangsgröße  $e(i)$  auf, so daß eine Speicherung der Eingangsgröße erfolgt. Die aktualisierte innere Zustandsgröße  $z(i+1)$ , d.h. insbesondere der folgende Bearbeitungszustand ist somit insbesondere nur von der Eingangsgröße  $e(i)$  abhängig, nicht aber vom aktuellen, d.h. derzeitigen Bearbeitungszustand  $Z2'$  bis  $Z2$ .

- Beispielsweise bei Eingangsgrößen  $e(i)$ , welche den Wert Z aufweisen, geht das Fuzzy-Regelglied FAX in den Bearbeitungszustand  $Z0$  über, dem die Wertigkeit Z zugeordnet ist. Die Ausgangsgröße  $y(i)$  ergibt sich aus der aktuellen Eingangsgröße  $e(i)$  und dem Wert der vorhergegangenen Eingangsgröße, d.h. dem aktuellen Bearbeitungszustand  $Z2'$  bis  $Z2$ . Beispielsweise

ergibt ausgehend vom aktuellen Bearbeitungszustand  $Z1'$ , dem der Wert NS zugeordnet ist, eine Eingangsgröße  $e(i)$  mit dem Wert  $Z$  den folgenden Bearbeitungszustand  $Z0$ , dem der Wert  $Z$  zugeordnet ist und eine Ausgangsgröße  $y(i)$  mit kleinem positivem Wert PS. Des weiteren sind im Beispiel der Figur 9 noch weitere Werte insbesondere für die Ausgangsgröße  $y(i)$  aufgeführt, wie beispielsweise PB und NB für große positive bzw. negative Werte und PH und NH für sehr große positive bzw. negative Werte.

Da die in den Figuren 8 und 9 dargestellten Beispiele Zustandsgraphen mit begrenzter Anzahl an Bearbeitungszuständen  $Z2'$  bis  $Z2$  beschreiben, liegt jeweils ein oberster Bearbeitungszustand  $Z2$  und ein unterster Bearbeitungszustand  $Z2'$  vor. Die durch das Fuzzy-Regelglied FAX einnehmbaren Bearbeitungszustände  $Z2'$  bis  $Z2$  und die Ausgangsgröße  $y(i)$  sind somit auf einen höchsten bzw. niedrigsten Wert, hier PM bzw. NM beschränkt. Dem Fuzzy-Regelglied FAX ist beispielsweise aber auch eine endlose oder halb offene Folge von Bearbeitungszuständen  $Zm'$  bis  $Zn$ , d.h. ohne Anzahlsbeschränkung zugrundeliegend.

In den Figuren 10 und 11 sind mit Bezug auf die in den Figuren 8 und 9 aufgeführten Ausführungsbeispiele der Erfindung mit integrierender bzw. differenzierender Übertragungscharakteristik jeweils ein Diagramm zur Darstellung der Eingangs- und Ausgangsgröße  $e(i)$  bzw.  $y(i)$  des entsprechenden zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds FAX beispielhaft dargestellt. Hierbei weist das jeweilige Fuzzy-Regelglied FAX zunächst eine nahezu lineare Übertragungscharakteristik auf. Diese nahezu lineare Übertragungscharakteristiken sind durch nachträgliches Einbringen von Nichtlinearitäten gezielt veränderbar, um ein erwünschtes Regelverhalten zu erzielen. Die dünnen durchgezogenen Kurven in den Figuren 10 und 11 stellen die entsprechende Eingangsgröße  $e(i)$  dar, welche hier beispielsweise einen sinusförmigen Verlauf aufweisen. Die fettgedruckten, durchgezogenen Kurven stellen die entsprechende

Ausgangsgröße  $y(i)$  dar, welche die Integral- bzw. Ableitungsfunktion der entsprechenden Eingangsgröße  $e(i)$  sind. Da das dynamische Fuzzy-Regelglied FAX gemäß der Erfindung zeitdiskret ist, weist die Ausgangsgröße  $y(i)$  einen stufenförmigen Verlauf auf. Die Größe der Stufen ist insbesondere durch die Abtastrate variierbar, d.h. die Taktrate, mit der das zeitdiskrete, dynamische Fuzzy-Regelglied FAX die innere Zustandsgröße  $z(i)$  aktualisiert.

- 10 In den Figuren 12a, 12b und 13 ist beispielhaft dargestellt, wie ein erfindungsgemäßer Regler RE durch das gezielte Einbringen von Nichtlinearitäten vorteilhaft modifizierbar ist. Das Abändern der Regeln, d.h. der Fuzzy-Folgerungen, kann insbesondere durch Abändern der Pfeile und der zugehörigen Ausgangsgröße  $y(i)$  im Zustandsgraphen erfolgen. Die Darstellungen der Figuren 12a, 12b und 13 sind aus Gründen der Übersichtlichkeit unvollständig dargestellt, d.h. es sind insbesondere nicht alle Übergänge zwischen den Bearbeitungszuständen Z2' bis Z2 dargestellt und dienen lediglich zur Darstellung von Modifizier-Prinzipien, welche insbesondere auf die Ausführungsbeispiele der Figuren 8 und 9 übertragbar sind.

- Die in den Figuren 12a und 12b dargestellten Ausführungsbeispiele betreffen die Zustandsgraphen zweier zeitdiskreter, dynamischer Fuzzy-Regelglieder FAX mit integrierender Übertragungscharakteristik, welche als sogenannte 'Anti-Wind-Up'-Regelglieder modifiziert sind. Die Fuzzy-Regelglieder FAX sind dabei auf eine endliche, d.h. begrenzte Anzahl an Bearbeitungszuständen, hier beispielsweise die fünf Bearbeitungszustände Z2' bis Z2 begrenzt, wodurch die äußeren Bearbeitungszustände Z2' und Z2 nicht unter- bzw. überschritten werden können. Das Fuzzy-Regelglied FAX verbleibt dabei im Beispiel der Figur 12a im höchsten Bearbeitungszustand PB, auch wenn als Eingabegröße ein großer positiver Wert PB eingegeben wird, der sonst einen Sprung über drei Zustände bewirkt. Im Beispiel der Figur 12b wird sogar zusätzlich die beim Aktualisieren des Bearbeitungszustands bewirkte Sprungweite bei

Annäherung des Sättigungs-Bearbeitungszustands PB von Sprungweite drei, NB nach Z, über zwei, Z nach PM und eins, PM nach PB, zu null, PB nach PB, reduziert, obwohl als Eingangsgröße jeweils ein großer positiver Wert PB vorliegt.

5

Das in der Figur 13 dargestellte Ausführungsbeispiel betrifft den Zustandsgraphen eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds FAX, mit modifizierter, differenzierender Übertragungscharakteristik. Kleine positive und negative Werte PS bzw. NS der Eingangsgröße bewirken dabei zwar einen Übergang des Fuzzy-Regelglieds Fax vom Bearbeitungszustand Z in den entsprechenden folgenden Bearbeitungszustand, beispielsweise von Z nach PS, von Z nach NS oder umgekehrt, die Ausgabegröße ist jedoch für kleine Werte insbesondere auf den Wert Z, d.h. auf null reduziert. Dadurch wird insbesondere die Dämpfung von Rausch- und Störsignalen der Eingangsgröße bewirkt.

10

15

## Patentansprüche

1. Regler (RE) mit wenigstens einem Regelglied (FA1..FA8), insbesondere mit zumindest einer integrierenden (FA6, FA8) und/oder differenzierenden (FA7) Übertragungscharakteristik, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Regelglied (FA1..FA8) als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAX) aufgebaut ist und daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) eine Speichereinrichtung (MZ) zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) aufweist.

2. Regler (RE) nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Fuzzy-Regelglied (FAX, FA1..FA8) aus einer Eingangsgröße ( $e(i)$ ) und aus einer inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen ( $F1, I1, D1, F2, I2, D2$ ) die innere Zustandsgröße ( $z(i)$ ) derartig aktualisiert ( $z(i+1), F(z(i), e(i))$ ) und eine Ausgangsgröße ( $y(i)$ ) derartig erzeugt ( $G(z(i), e(i))$ ), daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) zumindest eine integrierende und/ oder eine differenzierende, insbesondere nichtlineare Übertragungscharakteristik ( $e(i), y(i)$ ) aufweist (FIG 7a).

3. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine erste statische Fuzzyeinrichtung ( $F(z(i), e(i))$ ) zur Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7b).

4. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine zweite statische Fuzzyeinrichtung ( $G(z(i), e(i))$ ) zur Erzeugung der Ausgangsgröße ( $y(i)$ ) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7c).

5. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß

- 5 a) die innere Zustandsgröße ( $z(i)$ ) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) durch wenigstens eine Folge von Bearbeitungszuständen ( $Z_m' \dots Z_1'$ ,  $Z_0$ ,  $Z_1 \dots Z_n$ ) gebildet wird, und
- b) das Fuzzy-Regelglied (FAX) bei einer Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ( $z(i)$ ) von einem bisherigen Bearbeitungszustand ( $Z_m' \dots Z_n$ ) zeitdiskret in einen folgenden  
10 Bearbeitungszustand ( $Z_m' \dots Z_n$ ) übergeht (FIG 8, FIG 9).

6. Verwendung eines Reglers (RE) nach einem der vorangegangenen Ansprüche zur Regelung eines technischen Prozesses.

## Zusammenfassung

## Regler mit zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern

- 5 Der erfindungsgemäße Regler (RE) weist wenigstens ein Regelglied (FA1..FA8), insbesondere mit zumindest einer integrierender (FA6, FA8) und/oder differenzierender (FA7) Übertragungscharakteristik auf, welches als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAX) aufgebaut ist. Ein derartiges
- 10 zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAX) ist beispielsweise ein sogenannter Fuzzy-Automat, welcher Bearbeitungszustände ( $Z_m'..Z_n$ ) aufweist. Vorteilhaft ist es, daß der erfindungsgemäße Regler mit Regelgliedern aufbaubar ist, welche jeweils systematisch dynamische Fuzzy-Eigenschaften auf-
- 15 weisen und bei welchen gezielt Nichtlinearitäten für ein gewünschtes Regelverhalten einbringbar sind.

FIG 3